

近交弱勢回避による生物多様性維持を学ぶ教材の作成とその評価

田中 伸也・大津 晴男[※]・大丸 秀士[※]

本研究では、近交弱勢を避けることを意図した取り組みを短時間で具体的に感じ取るために、クロサイ(*Diceros bicornis*)の国内飼育下個体群の遺伝的多様性の低下を防ぐために動物園が行っている血統登録簿を用いた繁殖戦略を教材化し、その有用性を評価した。その結果、この教材を用いることで、近交弱勢を回避するために行っている動物園の繁殖戦略についての理解が高まることがわかった。また、生態系維持のために動物園ができる役割についての理解が高まることもわかった。

1. はじめに

遺伝的多様性は個体群内の個体間レベルと、地理的に隔たった個体群間レベルに大別される。生物の個体数が少ない条件や、地理的に隔たりがある場合などは、近親交配がすすみ、産まれてくる子の数が減少し、産出子の生存率が低下(Lacy ら 1993, Ralls ら 1988)したり、精子形態異常が増加する(Wildt ら 1987, Packer ら 1993)などの近交弱勢が起こる。その原因は、通常は表現型として表れにくい劣性遺伝子が近親の配偶子間でホモ接合しやすいためである。

平成 21 年に公示された高等学校学習指導要領では、生態と生物多様性のなかで「遺伝的多様性、種多様性及び生態系多様性を扱うこと。個体群の絶滅を加速する要因も扱うこと」とある(文部科学省 2009)。確かに、個体数の減少は分かり易い例であり、多様性を脅かすものとして大変説明しやすい。これまでに個体数減少の極端な例として種の絶滅を利用した教科書が多数報告されている。絶滅したイブクロコモリガエル(*Rheobatrachus silus*)の例を使って学習導入に用いたもの(田中ら 2011)、生息地面積と関係があり、人為攪乱や自然攪乱の結果、絶滅が生じやすいとして説明しているもの(吉里ら 2012, 浅島ら 2012)、アリー効果が得られない場合の説明に利用したもの(浅島ら 2012, 本川ら 2012)、外来生物によって絶滅が引き起こされやすいとしたもの(吉里ら 2012, 浅島ら 2012, 本川ら 2012)など、枚挙にいとまがない。絶滅はそれだけ重要な概念である。ただし、絶滅を推し進める要因のひとつである近交弱勢の影響を、資料をもとにした作業を通じて考えさせる教材はない。

近交弱勢は生物の遺伝的多様性の低下を招き、絶滅を進行させる可能性があり、避けるべきである。本研究では、近交弱勢を避けることを意図した取り組みを短時間で具体的に感じ取るために、クロサイ(*Diceros bicornis*)の血統登録簿を教材化し、その有用性を評価した。この

血統登録簿は、クロサイの国内飼育下個体群の遺伝的多様性の低下を防ぐために、動物園の繁殖戦略に利用されているものである。

2. 目的

動物園による絶滅危惧種の繁殖戦略を参考にして、個体数の減少を防ぐ手立てを知るとともに、近交弱勢の概念を導入する教材を作成する。その教材を用いて学習者の興味や理解を高めるうえで有用であるか評価するとともに、課題を明らかにして今後の望ましい利用法を考察する。

3. 材料と方法

1. 血統登録簿とその改編

クロサイ国内血統登録簿(大津ら 2012)をもとに、安佐動物公園に 1971 年野生から導入されたクロサイのハナとクロ(国際登録番号 0181 と 0182)とその血縁関係にあるものを抜き出して改編したものを表 1 に示す。

2. 血統登録簿を用いた授業の実践

2012 年に広島大学附属福山高等学校 1 年生において授業を実践した。その後、生徒にアンケート調査を行って生徒の理解や学習の広がりを調べた。

○授業導入(5 分) 血統図を紹介して、その簡単な書き方の例を示した。その後、安佐動物公園のクロサイ「クロとハナ」を中心とした血統図を作成することを指示した。

○展開 1(20 分) 表 1 のクロサイの登録個体データを 1 人に 1 枚ずつ配布し、血統図を作成するように指示した。質問がある場合は適宜受け付けた。

○展開 2(15 分) クロサイは絶滅寸前の生物種である

※広島市安佐動物公園

表 1. クロサイの登録個体データ

国際登録 番号	愛称	性	異動年月日	施設名	繁殖年月日	死亡年月日	父	母	産地・ 出生地	死因
0181	ハナ	f	71/07/14	安佐	66/01/01		wild	wild	ケニア	皮膚炎
0182	クロ	m	71/07/14	安佐	67/01/01		wild	wild	ケニア	
0183	サッチャン	f	72/02/01	天王寺	72/02/01			0184	0185 天王寺	
0184	サイタロウ	m	65/04/30	天王寺	63/01/01	74/02/27	wild	wild	ケニア	慢性カタル性腸炎
0185	バーバラ	f	65/10/31	天王寺	62/01/01		wild	wild	ケニア	
			77/04/07	かみね		98/10/01				外傷性ショック
0259	トシ	m	77/04/10	安佐	77/04/10		0182	0181	安佐	
			83/11/10	メトロ						
0284	ナミ	f	79/09/12	安佐	79/09/12		0182	0181	安佐	
			87/04/13	台北						
0305	アキ	m	81/03/31	安佐	81/03/31		0182	0181	安佐	
			83/11/10	シヤイアン		94/09/29				
0346	トミー	m	82/10/30	安佐	82/10/30		0182	0181	安佐	
			89/09/18	天王寺						
0354	サチ	f	84/08/09	安佐	84/08/09		0182	0181	安佐	
0354			86/10/21	台北			0182			
0374	アイ	f	86/09/10	安佐	86/09/10		0182	0181	安佐	
			95/10/26	東山						
0420	ロン	m	88/07/24	安佐	88/07/24		0182	0181	安佐	
			92/10/09	横浜金沢						
0421	ローラ	f	88/08/21	かみね	88/08/21		0323	0185	かみね	
			91/01/08	横浜金沢						
0443	ヘイルストーン	m	91/07/30	サンフランシスコ	91/07/30		0074	0213	サンフランシスコ	
			94/03/01	ホノルル						
			99/03/15	安佐						
0445	ロナ	f	91/06/30	安佐	91/06/30	93/03/07	0182	0181	安佐	心内膜炎・腸炎・グラム陽性菌
0492	サキ	f	93/07/26	安佐	93/07/26		0182	0181	安佐	
0493	イヨ	f	94/01/04	安佐	94/01/04	06/11/15	0182	0374	安佐	闘争による腸捻転
0538	サトミ	f	94/04/20	天王寺	94/04/20		0346	0183	天王寺	
			96/10/07	カードウェル		96/10/21				
0560	サツキ	f	95/05/16	安佐	95/05/16		0182	0181	安佐	
			99/03/18	ホノルル						
0561	アルゴ	f	95/10/30	横浜金沢	95/10/30		0420	0421	横浜金沢	
			99/03/08	上野						
0593	ニル	m	96/01/24	東山	96/01/24		0182	0374	東山	
0616	サト	f	96/08/25	天王寺	96/08/25	98/06/26	0346	0183	天王寺	母親との闘争により起立不能(98/6/24)
0711	ビビ	f	98/01/26	横浜金沢	98/01/26		0420	0421	横浜金沢	
			01/10/24	セディウィック						
0713		m	98/06/25	天王寺	98/06/25	98/06/25	0346	0183	天王寺	死産(母親は前日616と闘争)
0731	ハニー	f	99/08/02	安佐	99/08/02		0182	0492	安佐	
			07/07/27	デヒワラ						
0749		m	99/10/06	安佐	99/10/06	99/10/06	0182	0181	安佐	無気肺・肝臓破裂
0860	クー	f	00/09/26	横浜金沢	00/09/26		0420	0421	横浜金沢	
			05/01/06	とべ						
0866	クラツグ	m	01/08/18	安佐	01/08/18		0443	0492	安佐	
			04/06/25	アドベン						
0876	ストーム	m	02/01/11	安佐	02/01/11		0443	0493	安佐	
			07/03/08	とべ						
0883		f	02/05/21	安佐	02/05/21	02/05/21	0183	0181	安佐	流産
0901	ディオ	m		横浜金沢	02/10/05		0420	0421	横浜金沢	
			07/07/27	デヒワラ						
0930	アディー	f	04/11/16	安佐	04/11/16		0443	0492	安佐	
0931	アース	m	05/01/24	横浜金沢	05/01/24		0420	0421	横浜金沢	
未1	ロッキー	m	06/11/19	安佐	06/11/19		0443	0492	安佐	
未2		f	08/04/11	とべ	08/04/11	08/04/11	0876	0860	とべ	流産

ことを告げ、その繁殖における動物園の戦略と多様性維持のために果たすことのできる役割を考察・記述させた。質問の内容は以下の3点である。①クロサイは絶滅寸前の生物種である。その繁殖において動物園の戦略はどのようになっていると考えられるか。血統図から考察せよ、②生態系維持のために動物園のできる役割を考察せよ、③その他に、この血統図を作成してみて、印象に残ったこと、気づいたことを書いてください。

○終結(10分) 血統図を参照しながら、①繁殖戦略として、近親間で子孫を残さないように他の動物園からクロサイを連れてきていること、②安佐動物公園は将来的に生物種の保護のために飼育しているクロサイを野生に戻したり、保護の必要な野生のクロサイを動物園に連れてきたりすることにより、生態系の維持の役割を担うことが考えられることを伝えた。その後、この教材を評価するためアンケート調査を行った。

表2. アンケート調査の設問項目

以下の質問に当てはまる数字に丸を付けてください。

1. 授業の前に家系図・血統図・系図という言葉を知ったことがありますか。
1 ある 2 ない
2. 授業の前に家系図など血統図を作成した経験がありますか？ある人はいつ（何歳）ですか。
1 ある（ 歳ごろ） 2 ない
3. 血統図に興味・関心を持ちましたか。
1 とても思う 2 少し思う 3 どちらでもない 4 あまり思わない 5 まったく思わない
どのようなところに持ちましたか。いくつでも挙げてください。
4. 動物園の繁殖戦略は理解できましたか。
1 とても思う 2 少し思う 3 どちらでもない 4 あまり思わない 5 まったく思わない
5. 生態系保全のために動物園のできる役割は理解できましたか。
1 とても思う 2 少し思う 3 どちらでもない 4 あまり思わない 5 まったく思わない
6. その他の生物の血統図も作成してみたいと思いますか。
1 とても思う 2 少し思う 3 どちらでもない 4 あまり思わない 5 まったく思わない

3. 評価方法

アンケート調査では、クロサイの入手方法、血統図の作成経験、クロサイの血統図の作成結果、血統登録簿を用いた教材に対する感想、情意や知識理解に対する効果について選択法、評定尺度法および自由回答法を用いて回答を求めた。アンケートの内容を表2に示す。

外から、クロサイを連れてくるようにしていると考えたものが6人いた。他に、「子供が早く死ぬものがある」「野生型のクロサイに子供を産ませている」といった記述が1人ずつあった。

4. 結果

1. 血統図の作成とその図を用いた考察

生徒が作成した血統図の例を図1に示す。今回は特定のクロサイ(クロとハナ)の血統図を中心に血統図を作成させたため、用紙の上側にクロとハナが中心にかかっている。また、二重線で両親を示し、二重線の下的一本線でその子供を示させた。その結果、アイやサキなどクロの子供とクロの関係が線をまたいで表現されることとなり、生徒は苦勞をした様子が見てとることができる。また、子供が死産する例などもあり、その表現に苦勞している様子が見てとることができる。

動物園の繁殖戦略を考察・記述させると、「どうにかして数を増やすために手当たり次第に子供を作らせる」という例のように、とにかく増やすことを優先していると記述したものが24人いた。その内容に加えて、クロとサキのように「生まれた子供と親とで子をつくり、繁殖させている」のように、血縁関係に触れているものが16人いた。また、今回はクロとハナを中心とした血統図を作成したことから「いっぱい子供が産めるやつはとにかく色々な相手と子供をつくらせている」のように子供を産む個体が固定されがちなことに言及しているものが9人いた。しかし、子供を増やしている動物園が偏った傾向にあることに触れているものはいなかった。一方、「定期的に他の動物園のサイと交配させて遺伝子の維持を図っている」のように、近親交配を避けるために血縁関係

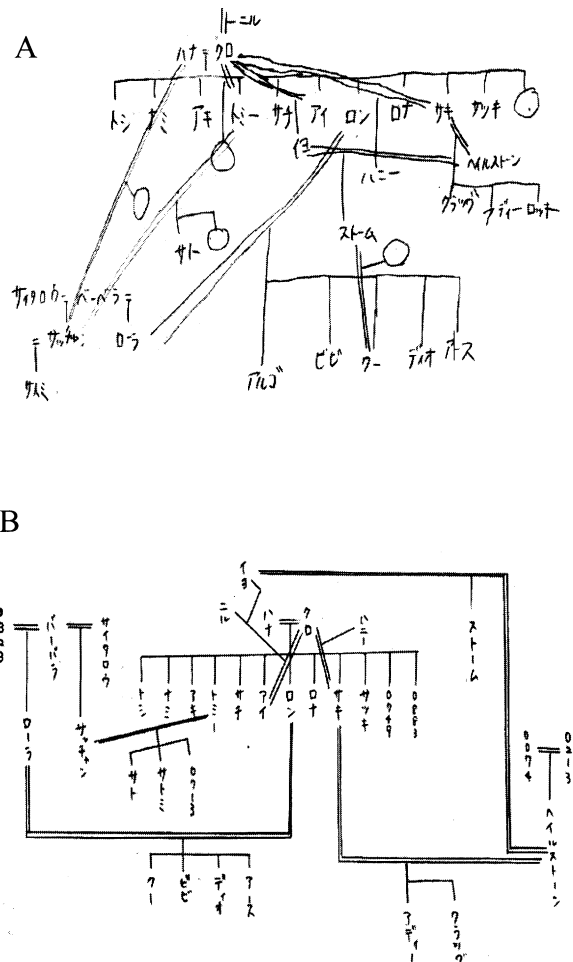


図 1. 生徒が作成した血統図の例

また、生態系維持のために動物園のできる役割について考察・記述させたところ、「数を増やすことで絶滅しないようにする」という例のように、クロサイの減少や絶滅の阻止について触れているものが一番多く、14人いた。「病気にしないようによりよい環境をつくる」「オスとメスの比率を調節してケンカしないようにする」など飼育・保護に関する記述をしているものが13人いた。また、「種や遺伝子を保存する」というようにより抽象的な内容にまで言及したものが2人いた。他に、「外国のもの（クロサイ）と生殖させる」「外国へ子を送る」という、ブリーディングローンに関する記述、「（飼育して）生態を調べる」という学術研究に関する記述、「自然のままにした方がよいので関与しない方がよい」という記述が1人ずつあった。

最後に気づきや印象に残ったことを記述させたところ、「親と子でこどもがうまれており、なんでもありだと思った」という例のように、親子間の組合せについて述べたものが一番多く、21人いた。「野生種ハナとクロから多く生まれている」など、特定の個体が子供を残していることに触れているものが8人いた。「一匹当たりの産む数が人間に比べ多いので、繁殖力が比較的高い」というように繁殖力について触れたもの、「血統図が複雑になった」など血統図が複雑であることを指摘したものが各6人いた。「クロサイを必死で守ろうとする人の努力が伝わった」など保護の取り組み、「高齢のクロサイは流産していることがわかった」などクロサイの生態に関する者が各5人、「優秀なクロサイを選んで子を産ませている」、「血縁関係がないクロサイを遠くから連れてきて（繁殖させて）いる」という血統関係に迫っているものが各1人いた。

2. アンケート結果

授業後に行ったアンケートの結果を図2に示す。授業の前に家系図・血統図・系図という言葉を知っていたかどうかでは、あると答えた生徒が37人(95%)いた。また、授業の前に家系図など血統図を作成した経験があるのは5人(13%)いた。そのうち2人は14歳ごろ、他の2人は小学生ごろに作成経験があると答えた。血統図に興味・関心を持ったのは、とても思うと少し思うと答えた肯定的評価が23人(59%)いた。

同様に、肯定的評価の人数と割合は、動物園の繁殖戦略の理解について35人(90%)、生態系維持のために動物園のできる役割について34人(87%)、他の生物の血統図を作成したいかについて17人(43%)いた。一方、否定的評価の人数と割合は、動物園の繁殖戦略の理解について1人(3%)、生態系維持のために動物園のできる役割について1人(3%)、他の生物の血統図を作成したいかについて14人(36%)いた。

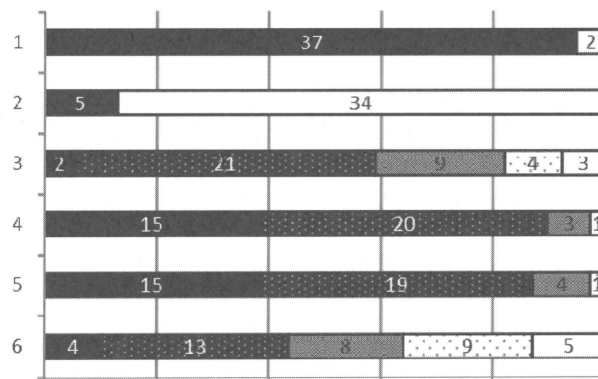


図2. アンケートの結果

- とても思う (ある) ● すこし思う
- ▨ どちらでもない □ あまり思わない
- まったく思わない (ない)

1.授業の前に家系図・血統図・系図という言葉を知っていたことがありましたか。(解答はある・ないの2択) 2.授業の前に家系図など血統図を作成した経験がありますか？(解答はある・ないの2択) 3.血統図に興味・関心を持ちましたか。4.動物園の繁殖戦略は理解できましたか。5.生態系維持のために動物園のできる役割は理解できましたか。6.その他の生物の血統図も作成したいと思いませんか。

5. 考察

1. 生徒の試行錯誤

血統図の作成経験がないため(図2)、その作成の仕方についてルールがあるのか、血統図の表現をわかりやすくするためにはどのようにすればよいのかなど、多くの疑問があり、生徒は試行錯誤していた。作成の例として図1にあるように、クロの娘であるアイと、クロが子供を残していることの表現のためにクロから斜めに二重線を引いて表現したり、血統図上にクロが2回以上でてきたり、親と子の関係だけを示したりする例など様々な表現が見られた。作成中、クロサイの親子関係がヒトのものと異なることが強く印象に残るようである。実際、図の作成中に「たくさんの子供がいる」「人間では考えられない」など、非常に多くの声を聞くことができた。その発言の中で生徒の思考を読み取ることができた。

一方、考察の記述は期待したものよりも少ないように感じられた。質問内容である動物園の繁殖戦略、生態系維持のための動物園の役割、印象や気づきには多くの可能性・考察が記述可能である。しかし、動物園の繁殖戦略について記述した内容別の総計が57(生徒1人あたり1.4)、生態系維持のために動物園のできる役割について

33 (生徒 1 人あたり 0.83), 印象や気づきについて 53 (生徒 1 人あたり 1.3) であり, とても記述が短く, 内容も多岐にわたるものではなかった。**図 2** より血統図に興味・関心をもった, という肯定的評価をした生徒が 59%, 他の血統図を作成してみたい, と肯定的評価をした生徒が 43%であったことから, 血統図の作成には試行錯誤があるうえ, 表の読み取りに時間がかかることもあり, 労力が割かれることが考えられる。血統図作成中に生徒の発言が目立っていた「血縁関係で子孫を残していること, たくさんの子供を産ませていること」については多くの考察があるのに対し, そこから踏み込んだ遺伝子のことなどの記述が少ないのも, そのことを示唆していると考えられる。考察に時間をかけるために, クロサイの登録個体のデータ量の調節, 最適な個体群の選択などの工夫が必要だと考えられた。

2. 血統図作成からの理解

動物園の繁殖戦略について, クロサイの登録個体のデータからは, 親子がまわらず個体数が増やせるだけ増やすようにしているように見える。しかし, 注意深くデータを読み解くと, 登録番号 0346 と 0183 のトミーとサッチャン, 0443 と 0492 のサチとヘイルストーンのように動物園間でクロサイをやり取りしている様子が読み取れる。わざわざ遠方の他の動物園から個体を呼び寄せていることから, 近親間での子供を産まないように遠縁のクロサイを連れてきていると気付いた生徒が 6 名いた。さらに, 説明を加えることにより, 近親間での交配を避けていることがよりよく理解できたようである。実際, **図 2** より動物園の繁殖戦略は理解できたと肯定的評価が 90%もあり, 血統図を作成することで近親間での交配を避けることなどが理解しやすくなったと考えられる。

また, 生態系維持のための動物園の役割についても同様によく理解できたようである。血統図作成という活動を通して, 動物園の役割を考察させると個体数の減少・絶滅の阻止, 飼育・保護, 遺伝子の保存のためと様々な考察ができた。そのため, 本教材の利用は, 動物園の役割について様々な考察ができ, その内容が理解しやすいと考えられる。

3. 新しい教材としての利用の可能性

動物園では絶滅の危機に瀕している希少動物を捕獲して展示することはできないことから, 飼育されている動物を繁殖することにより個体を確保している。しかし, 飼育動物の血縁関係が近くなっていることから, 繁殖のために外国などから動物を貸し借りすることにより近交弱勢を回避している。

考察の 1 と 2 のように, 血統図の作成には表の読み取りや表現技法の工夫などの生徒の試行錯誤, 近交弱勢を避けるために他の動物園から遠縁の個体を連れてきて交

配させていることを理解させるための導入, 動物園の役割として個体数の減少・絶滅の阻止, 飼育・保護, 遺伝子の保存など様々な考察を引き出すことができることがわかる。目的として掲げた「動物園による絶滅危惧種の繁殖戦略を参考にして, 個体数の減少を防ぐ手立てを知るとともに, 近交弱勢の概念を導入する教材を作成する。その教材を用いて学習者の興味や理解を高めるうえで有効であるか評価するとともに, 課題を明らかにして今後の望ましい利用法を考察する」ことのうち, 学習者の理解を高めるうえでは大変有用であることがわかった。

しかし, **図 2** の血統図に興味を持ったかという質問に対して肯定的評価が 59%, その他の生物の血統図も作成したいかという質問に対して肯定的評価が 46%という結果から, まだまだ学習者の興味を高める手段があると考えられる。これは, 本教材の血統図作成過程で「親と子で子どもがうまれており, なんでもありだと思った」と驚きの声生まれる雰囲気の中で奇異である。血統図作成だけでは, 目に見えない遺伝子の変化が感じ取りにくいことが関係しているのかもしれない。また, 生物種を変えての血統図作成はさらに大変であり, 得られる情報はほとんど変わらないと考えた可能性がある。そのため, 血統図作成の作業量の調節, 他の動物種などの検討が今後の課題となる。

クロサイの血統図作成では, 近親交配の情報は目立つものの, それによる近交弱勢が起こっていることははっきりとわからなかった。近親交配はあるものの, それによる近交弱勢がおきているのかは血統図では見いだせない。なぜなら, 病気のしやすさや外見の変化などは血統登録簿からは見出しにくいからである。また, 流産や死産などを血統登録簿に反映させることができない場合もある。一方, 動物園では, 遺伝的多様性を維持するために, 他の動物園から動物を貸出し・借入れする契約であるブリーディングローンを実施しており, 近交弱勢問題が起きにくい体制を敷いていることが血統図作成という作業の中で見いだせる。そのため, 血統登録簿からはっきりとみとれるのは, 近交弱勢ではなく, その回避である。動物園は, 近交弱勢という現象のメカニズムを知っており, その回避に腐心しているのである。回避が重要とみなすためには, 生物学の知見が多大な貢献をしていることが明らかであり, クロサイの血統登録簿を利用した教材を利用することによって, 近交弱勢回避による生物多様性維持が図られていることを知ることができる。よって, 本教材は近交弱勢回避を狙った具体的な例を学ぶ教材として利用可能である。

参考文献

- 浅島誠ほか(2012)生物 Biology. pp.356-364. 東京書籍.
- 大津 晴男・野々上範之(2010)クロサイ国内血統登録簿
INTERNAL STUDBOOK OF BLACK RHINOCEROS,
Diceros bicornis (社)日本動物園水族館協会.
- 田中伸也・林靖弘(2011)自然科学入門 生命のスコープ.
pp.2-3. 広島大学附属福山中高等学校.
- 本川達雄ほか(2012)生物 Biology. pp.451-456. 啓林館.
- 文部科学省(2009)高等学校学習指導要領第5節理科.
pp.61-62
- 吉里勝利ほか(2012)高等学校生物. pp.345-349. 第一学習社.
- Lacy, R. C., Petric, A. and Warneke, M. (1993). Inbreeding and outbreeding in captive populations of wild animal species. Thornhill, N. W. (ed.) "The Natural History of Inbreeding and Outbreeding" University of Chicago Press. pp.352-374. Chicago.
- Packer, C. and Pusey, A. E. (1993). Dispersal, kinship, and inbreeding in African lions. Thornhill, N. W. (ed.) "In The Natural History of Inbreeding and Outbreeding." University of Chicago Press. pp.352-391. Chicago.
- Ralls, K., Ballou, J. D. and Templeton A. (1988). Estimates of lethal equivalents and the cost of inbreeding in mammals. Cons. Biol, **2**: 185-193.
- Wildt, D. E., Bush, M., Goodrowe, K. L., Packer, C., Pusey, A. E., Brown, J. L., Joslin, P. and O'Brien, S. J. (1987). Reproductive and genetic consequences of founding isolated lion populations. Nature **329**: 328-331.